

УДК 621.735.3

Марков О. Є.

ЗМІНА РОЗМІРІВ ОСЬОВИХ ДЕФЕКТІВ ПРИ ОСАДЖУВАННІ ЗАГОТІВОК

Однією з основних проблем важкого машинобудування є виготовлення якісних виробів. Особливо це стосується крупних поковок, які виготовляють куванням злитків [1]. Завдання кування в цьому випадку – не тільки одержання заданої форми поковки, але й заварювання внутрішніх дефектів металургійного походження. Проаналізувавши технологічні процеси кування крупних поковок зі злитків на гідравлічних пресах, було встановлено, що близько 80–90 % технологічних процесів кування передбачають застосування операції осаджування, що необхідне: для збільшення розмірів вихідної заготовки, забезпечення високого коефіцієнта уковування, пророблення литої структури й закриття внутрішніх дефектів зливка. При цьому ця операція при куванні валів і плит застосовується не для формоутворення (як для поковок дисків), а як допоміжна операція для одержання необхідних розмірів поковки (наприклад, бочки вала або необхідної ширини плити). Осаджування – сама енергоємна й трудомістка операція, що вимагає додаткового підігріву заготовки, зміни інструмента, витрат енергії на деформування, що в цілому збільшує собівартість поковок і знижує продуктивність процесу кування. З точки зору підвищення якості при застосуванні операції осаджування в літературі можна зустріти суперечливі дані [2–4]. Існує значна кількість способів осаджування, всі вони засновані на застосуванні спеціального інструмента, що дозволяє змінити плин металу й розподіл деформацій по перетину заготовки [5, 6].

Характерними дефектами для крупних поковок, які передбачають операцію осаджування, є обумовлені УЗК несучільності, що розташовуються порізно або у вигляді скупчень розміром до 5 мм. Для дисків з отвором ці дефекти розташовуються в середині висоти поковки й примикають до внутрішнього отвору, розміщуються перпендикулярно його стінці на глибину до 150 мм (рис. 1, а) [7]. Зазначені дефекти, на думку В. А. Дуриніна, викликані несприятливим напружено-деформованим станом (НДС) при осаджуванні й збільшенням дефектної зони в поперечному напрямку під дією розтягуючих напружень [8]. Пояснюється це тим, що при осаджуванні циліндричної заготовки має місце нерівномірність деформації: плин металу на контактних поверхнях ускладнено, на середині висоти заготовки, що осаджується, плин металу в радіальному напрямку значно більше, це призводить до появи там розтягуючих напружень і відповідно розкриттю внутрішніх дефектів. На думку В. А. Тюріна, надмірне розширення ліквацийної зони у середній частині поковки (рис. 1, б) може стати причиною незадовільної якості деталі після механічної обробки [9]. На підтвердження сказаного можуть служити дослідження В. М. Трубіна, які показали, що при осаджуванні на 50 % заготовок із відношенням $H/D = 2,0$ зі сталі 34ХН1М відбувається розкриття штучних осьових дефектів (рис. 1, в). Це підтверджується результатами експериментальних досліджень М. Я. Дзугутова процесу осаджування сталевих зразків (рис. 2). Таким чином, на сьогоднішній день серед дослідників в галузі кування крупних поковок немає єдиної думки щодо доцільності застосування операції осаджування, з погляду підвищення якості крупних поковок.

Основним дефектом ковальського зливка є осьова рихлість. Послідовність і призначення ковальських операцій повинна бути такою, щоб заварити цей дефект. Усунення цього дефекту складається із двох етапів: перший – зменшення розмірів осьового дефекту (порожнеч) – його закриття, другий – забезпечення високого рівня стискаючих напружень при високій температурі для заварювання стінок порожнеч.

Мета роботи – встановити вплив операції осаджування плоскими, увігнутими й опуклими плитами заготовок із різним відношенням H/D на НДС і закриття осьових дефектів. На механізм закриття осьового дефекту впливають наступні основні фактори: співвідношення розмірів вихідної циліндричної заготовки (H/D), ступінь деформації при осадженні й геометрія плит для осадження.

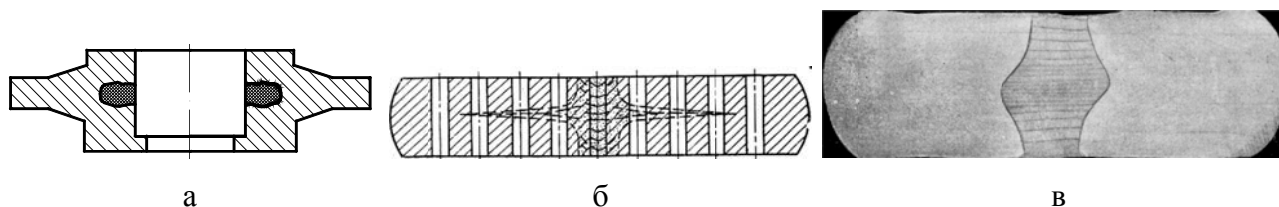


Рис. 1. Дефекти осьової зони дисків після осаджування

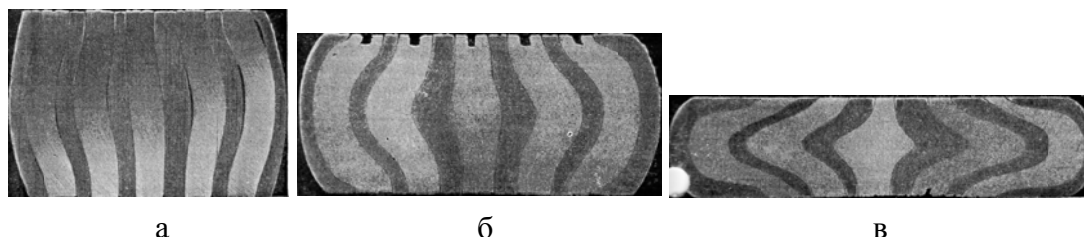


Рис. 2. Формозмінення внутрішніх шарів при осаджуванні на 20 % (а), 40 % (б), 60 % (в)

Теоретичне дослідження механізму зміни осьового дефекту при осаджуванні проводилося із застосуванням програмного продукту Qform-2D (ліцензія ДДМА № U1221). Результатами розрахунку є розподіл деформацій і напружень у тілі заготовки, силові характеристики процесу й зміна форми й розмірів осьового дефекту в процесі осаджування. Ступінь деформації заготовки у всіх випадках була однаковою й становила 50 % як величина, що рекомендується при осаджуванні злитків для одержання високої якості.

Методика проведення досліджень. Матеріал заготовки – сталь 38ХНМ, температурний інтервал кування 1200–800 °С, модуль Юнга 200000 МПа, коефіцієнт Пуассона 0,3. Досліджувана схема представлена на рис. 3. У заданому дослідженні заготовками є циліндричні сталеві моделі з осьовим отвором (штучний дефект), який моделював осьову рихлість. Діаметр заготовки (D) становить 1000 мм, а діаметр осьового отвору (d_o) 100 мм, тобто 10 % від діаметра заготовки, що відповідає максимальним розмірам осьових дефектів ковальського злитка звичайної конфігурації. Відносна висота заготовок (H/D) варіювалася в межах 0,75; 1,5; 2,25. Осадочні плити були опуклими (кут $\alpha = 135^\circ$), плоскими ($\alpha = 180^\circ$) і ввігнутими ($\alpha = 225^\circ$) з осьовими отворами (рис. 3 а, б, в відповідно). Діаметр отворів у плитах становить 0 (суцільна плита), $0,35D$ і $0,7D$, температура інструмента 40 °С. Отвір у плитах має постійний кут конусності 8° на сторону, що служить для можливості витягування заготовки з осадочної плити, матеріал інструменту – сталь 35.

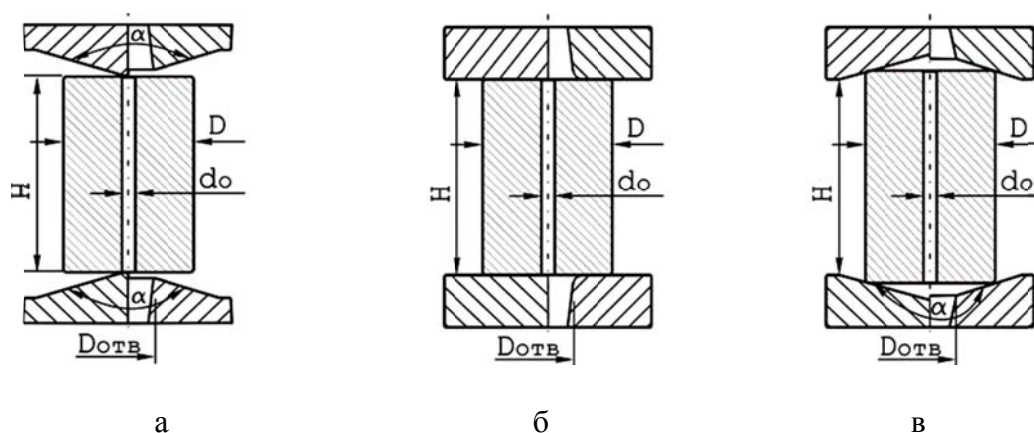


Рис. 3. Схема осаджування опуклими (а), плоскими (б) і ввігнутими (в) плитами з отворами (права половина) і без (ліва половина)

Для встановлення математичної моделі зміни відносного діаметра осьового дефекту (d_{def}/d_o) залежно від схеми деформування (висоти заготовки й конфігурації плит для осаджування)

було розроблене планування математичного експерименту по типу ПФЕ 3^3 (табл. 1). Таким чином, досліджувався вплив трьох факторів: кута конусності плит для осаджування (X1), відносної висоти заготовки (X2) і діаметри отвору в плитах для осадження (X3). Ці фактори варіювалися на трьох рівнях, у результаті одержали 27 схем для дослідження.

Таблиця 1

Рівні факторів математичного експерименту

Інтервал варіювання й рівні факторів	Фактори		
	$\alpha, ^\circ$	H/D	D_{ome}/D
Перший рівень, $x_i = 1$	225	2,25	0,7
Інтервал варіювання, Δx_i	45	0,75	0,35
Другий рівень, $x_i = 0$	180	1,5	0,35
Третій рівень, $x_i = -1$	135	0,75	0
Кодове позначення	X1	X2	X3

Осаджування заготовок плоскими плитами. У табл. 2 представлено розподіл інтенсивності логарифмічних деформацій (праворуч) і розподіл гідростатичних напружень (ліворуч) для співвідношень H/D : 0,75 (верхній рядок); 1,5 (середній рядок); 2,25 (нижній рядок). Після осаджування плоскими плитами на 50 % (табл. 2) різних по висоті заготовок, але з однаковим початковим діаметром можна встановити змінення відносного середнього діаметра осьового штучного дефекту. Для низьких заготовок ($H/D = 0,75$) дефект закривається на 62 % ($d_{cp}/d_o = 0,38$), для середніх заготовок ($H/D = 1,5$) практично не змінюється ($d_{cp}/d_o = 0,96$), а для високих заготовок ($H/D = 2,25$) стає більше вихідного ($d_{cp}/d_o = 1,16$). Дані результати підтверджуються відповідним напруженим станом в осьовій зоні. Для коротких заготовок в осьовій зоні з'являється більше жорсткий напружений стан нерівномірного всебічного стискування ($\sigma_{cp} = -36$ МПа), чим для середніх і високих відповідно ($\sigma_{cp} = -20$ МПа, $\sigma_{cp} = -11$ МПа). Аналізуючи деформований стан (табл. 2, перший стовпчик праворуч), можна відзначити: при осаджуванні низьких заготовок менша площа застійної зони, чим для середніх і високих заготовок, але для високих менша нерівномірність деформацій. Максимальні деформації локалізуються в центральній по висоті зоні, де відбувається розкриття осьового дефекту. Отримані результати збігаються з даними дослідників [10].

Наявність у плитах осьового отвору зі співвідношенням D_{ome}/D 0,35 і 0,7 (другий і третій стовпці табл. 2) не сприяє збільшенню ступеня закриття осьового дефекту, навпаки дефект розкривається, що підтверджується збільшенням відносного середнього діаметра, особливо для середніх і високих заготовок ($d_{cp}/d_o > 1$). Це підтверджується низьким рівнем стискаючих напружень в осьовій зоні за даними розподілу гідростатичного тиску в зоні розташування осьового дефекту, а також відповідним розподілом деформацій у тілі заготовки. При осадженні низьких заготовок, з максимальним діаметром отвору в плитах, метал у центральній зоні на всій висоті не деформується, тому осьовий дефект, за розмірами, залишається практично без змін. Для середнього діаметра отвору осередок деформації виникає в осьовій зоні, що сприяє частковому закриттю штучного дефекту ($d_{cp}/d_o = 0,71$) для низьких заготовок, і розкриттю ($d_{cp}/d_o > 1$) для високих заготовок, особливо в центральній по висоті зоні. Можна зробити загальний висновок для розглянутих схем деформування: чим більше діаметр отвору в плиті й висота заготовки, тим більше розкривається осьовий дефект і менше рівень стискаючих напружень в осьовій зоні.

Осаджування заготовок увігнутими плитами. У табл. 3 представлені розподіл інтенсивності деформацій (праворуч) і розподіл гідростатичних напружень (ліворуч) після осаджування на 50 %. Після виміру розмірів осьових дефектів було визначено, що при осаджуванні увігнутими плитами без отворів для низьких заготовок із $H/D = 0,75$ дефект закривається на 15 % ($d_{cp}/d_o = 0,85$), для середніх практично не змінюється ($d_{cp}/d_o = 1,03$), а для високих

збільшується на 26 % ($d_{cp}/d_o = 1,26$). Отримані результати збігаються з відповідним напруженим станом в осьовій зоні. Для низьких заготовок в осьовій зоні утворюється більше жорсткий напружений стан нерівномірного всебічного стискання ($\sigma_{cp} = -22$ МПа), чим для середніх і високих відповідно ($\sigma_{cp} = -15$ МПа й $\sigma_{cp} = -10$ МПа). Максимальні деформації локалізуються в центральній по висоті зоні, де розкривається внутрішній дефект для всіх заготовок за винятком низької заготовки ($H/D = 0,75$). Низька заготовка поводить інакше від схеми осаджування плоскими плитами – максимальна зона деформацій спостерігається на крайках контакту заготовки з інструментом і менше в центральній зоні.

Наявність у плитах осьового отвору зі співвідношенням D_{ome}/D рівним 0,35 і 0,7 (другий і третій стовпчик табл. 3) не сприяє заварюванню осьового дефекту, середній діаметр дефекту практично залишається, як і для плит без отвору, особливо для середніх і високих заготовок ($d_{cp}/d_o > 1$). Це супроводжується низьким рівнем стискаючих напружень в осьовій зоні, за даними розподілу гідростатичного тиску в зоні осьового дефекту, для схем осаджування плитами з отворами, а також відповідним розподілом деформацій у тілі заготовки. При осаджуванні низьких заготовок плитами з отвором $D_{ome}/D = 0,7$ метал у центральній зоні на всій висоті не деформується, тому осьовий дефект, за розмірами, залишається без змін. Для середнього діаметра отвору в плиті осередок деформації виникає в осьовій зоні, що сприяє частковому закриттю штучного дефекту ($d_{cp}/d_o = 0,89$) для низьких заготовок і розкриттю ($d_{cp}/d_o > 1$) для високих заготовок, особливо в центральній по висоті зоні. Високі заготовки при осаджуванні ввігнутими плитами з отворами й без дають аналогічні результати за характером зміни розмірів дефекту при осаджуванні й напруженого стану, як і у випадку осаджування високих заготовок плоскими плитами.

Зробимо загальний висновок для розглянутих схем деформування: діаметр отвору в плиті й висота заготовки практично не впливають на закриття осьового дефекту. Для низьких заготовок не спостерігається інтенсивне закриття осьового дефекту, як у випадку осадження плоскими плитами. Нерівномірність розподілу деформацій незначно відрізняється для всіх цих схем і перебуває в межах 0,9...1,1, але в середньому менше ніж для осаджування плоскими плитами ($\alpha = 180^\circ$). Рівень стискаючих напружень для низьких і середніх заготовок в осьовій зоні вище, ніж для високих.

Осаджування заготовок опуклими плитами. Зменшити зону ускладненої деформації на торцях заготовки, яка осаджується, можливо за рахунок використання опуклих плит. При цьому зменшується діжкоподібність заготовки за рахунок зміни схеми НДС. За аналогією з попередніми двома схемами був встановлений розподіл деформацій за перетином заготовки після осаджування опуклими плитами (табл. 4). Для низької заготовки ($H/D = 0,75$) спостерігається незначне закриття дефекту ($d_{cp}/d_o = 0,82$) для опуклих плит без отворів і з отвором $D_{ome} = 0,35D$. А для цієї ж заготовки при використанні плит для осаджування з отвором $D_{ome} = 0,7D$ середній діаметр осьового дефекту залишається незмінним ($d_{cp}/d_o = 0,99$). В осьовій зоні заготовки в центральній області гідростатичний тиск має найбільше від'ємне значення ($\sigma_{cp} = -14$ МПа), але цей рівень на 60 % менше ніж при осаджуванні плоскими плитами. Для схеми з використанням плит з малим отвором характерний аналогічний напружений стан з незначною концентрацією стискаючих напружень у верхній і нижній частині осьової зони заготовки ($\sigma_{cp} = -12$ МПа), а в місцях контакту з інструментом спостерігається найбільше значення розтягуючи напружень. Це можна пояснити вдавненням конусного інструмента, що сприяє розклиненню контактної поверхні. Для схеми з отвором у плиті $D_{ome} = 0,7D$ характерна концентрація стискаючих напружень у зонах появ максимальних деформацій (крайок виступів плит), при цьому $\sigma_{cp} = -12$ МПа. Низька нерівномірність розподілу деформацій для опуклих плит без отвору ($\Delta e = 1,19$) сприяє кращому проробленню центральної зони. Отвір у плиті приводить до високої нерівномірності розподілу деформацій ($\Delta e = 3,69$). Для середніх заготовок ($H/D = 1,5$) спостерігається незначне закриття осьового дефекту у верхній і нижній частині, але відсутнє закриття в центральній частині для суцільних плит і плит з отвором $D_{ome} = 0,35D$.

Таблица 2

Розподіл напружень і деформацій для схем осаджування плоскими плитами

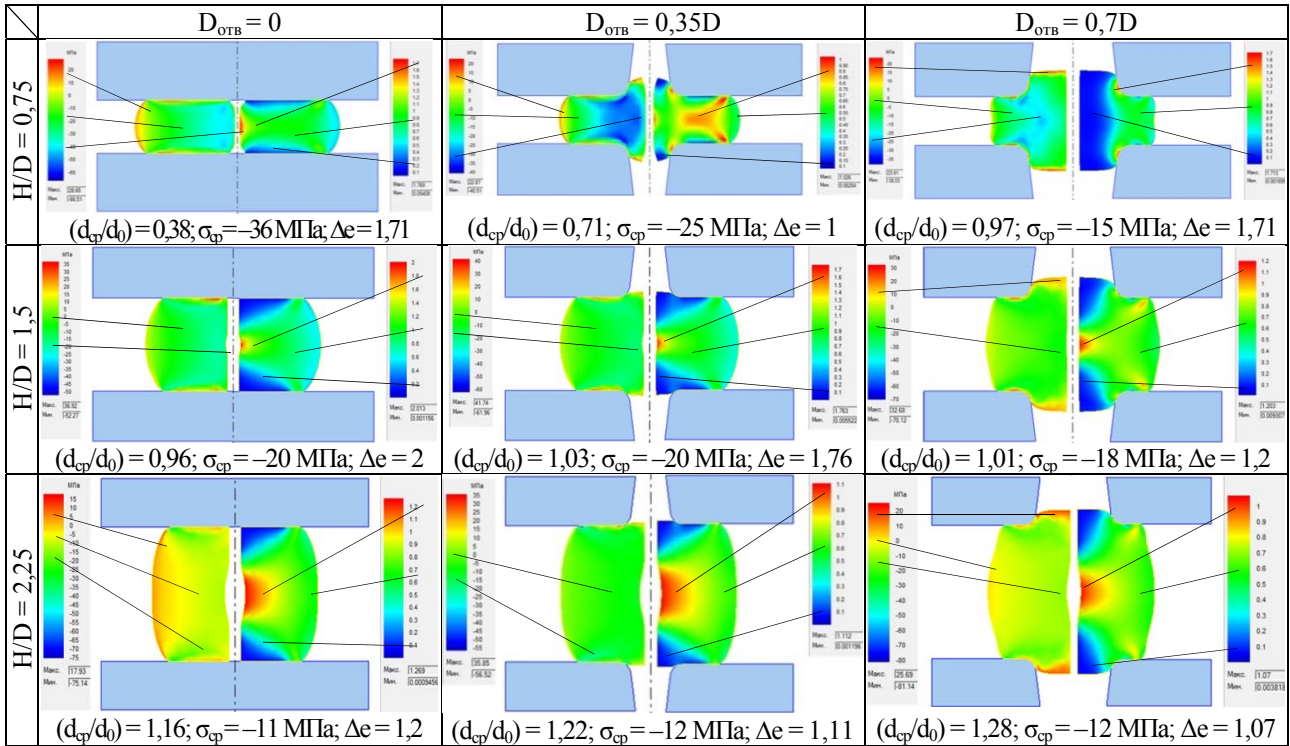
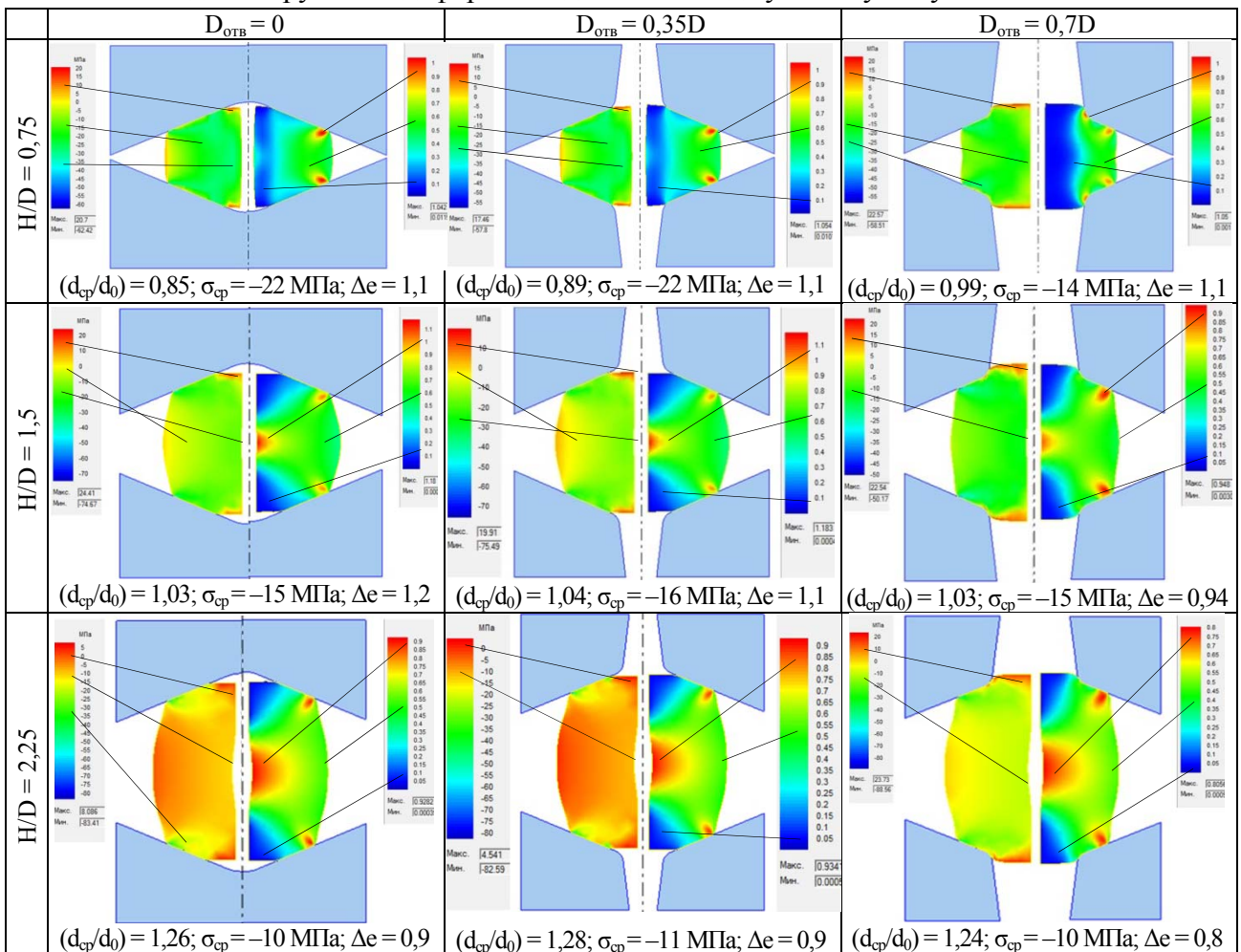


Таблица 3

Розподіл напружень і деформацій для схем осаджування увігнутими плитами



Для плит з діаметром отвору $0,7D$ не спостерігається значної зміни діаметра осьового дефекту. Напружений стан є рівномірним за винятком схеми з використанням плит з більшим отвором, де спостерігається незначна концентрація стискаючих напружень у центрі.

Деформований стан для середніх по висоті заготовок показує, що при використанні опуклих плит без отвору концентрація деформованої зони локалізується в центрі, а для плит з більшим отвором – поблизу бічної зони з утворенням потрійної бочки.

Для високих заготовок ($H/D = 2,25$) характерне зменшення середнього діаметра осьового дефекту в місцях контакту з інструментом, але в центральній зоні відбувається його розширення. У схемі з використанням суцільних опуклих плит спостерігається напружений стан всебічного стискання ($\sigma_{cp} = -5$ МПа), так само як і для схеми з отвором $0,35D$. Схема осадження з використанням інструмента з осьовим отвором $0,7D$ відрізняється від попередніх схем незначним рівнем стискаючих напружень в тілі заготовки, а деформований стан характеризується наявністю недеформованих зон металу, які видавлюються в отвір опуклих плит.

Осадження опуклими плитами без отворів середніх і високих заготовок супроводжується утворенням подвійної бочки з увігнутою бічною поверхнею, що збігається з відомими раніше дослідженнями. При цьому також зменшується зона ускладненої деформації, а в тілі заготовки з'являються рівномірні стискаючі напруження, за винятком торцевих зон заготовки. Наявність отвору в плитах приводить до збільшення нерівномірності розподілу деформацій і напружень. Ця схема осадження не сприяє заварюванню осьових дефектів.

На підставі проведених досліджень із використанням теорії планування експерименту були виведені математичні моделі, за допомогою яких можна визначити відносний діаметр осьового дефекту при осадженні заготовок із різним H/D і формою інструмента:

$$d_{cp}/d_o = 1,035 + (-0,015) \cdot X_1 + 0,26 \cdot X_2 + 0,025 \cdot X_3 + (-0,015) \cdot X_1^2 + (-0,07) \cdot X_2^2 + (0,045) \cdot X_3^2 + (-0,039) \cdot X_1^2 \cdot X_2^2 \cdot X_3^2 + (-0,124) \cdot X_1^2 \cdot X_2^2 \cdot X_3 + (-0,049) \cdot X_1^2 \cdot X_2 \cdot X_3^2 + (-0,012) \cdot X_1 \cdot X_2^2 \cdot X_3^2 + 0,085 \cdot X_1^2 \cdot X_2^2 + 0,029 \cdot X_2^2 \cdot X_3^2 + 0,045 \cdot X_1^2 \cdot X_3^2 + (-6,875 \cdot 10^{-3}) \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3^2 + 8,125 \cdot 10^{-3} \cdot X_1 \cdot X_2^2 \cdot X_3 + 0,071 \cdot X_1^2 \cdot X_2 \cdot X_3 + (-0,03) \cdot X_1^2 \cdot X_3 + 0,154 \cdot X_2^2 \cdot X_3 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot X_1 \cdot X_3^2 + 0,014 \cdot X_2 \cdot X_3^2 + (-0,035) \cdot X_1 \cdot X_2^2 + (-0,015) \cdot X_1^2 \cdot X_2 + (-0,012) \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 + (-0,045) \cdot X_1 \cdot X_2 + (-0,01) \cdot X_1 \cdot X_3 + (-0,121) \cdot X_2 \cdot X_3,$$

$$\text{де } X_1 = \frac{\alpha - 180}{45}, \quad X_2 = \frac{H/D - 1,5}{0,75}, \quad X_3 = \frac{D_{oms}/D - 0,35}{0,35}.$$

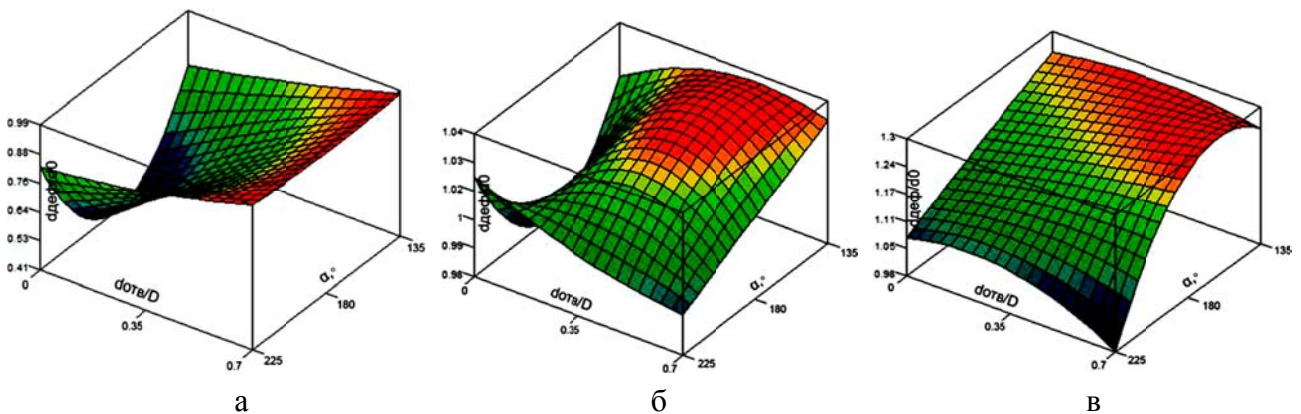
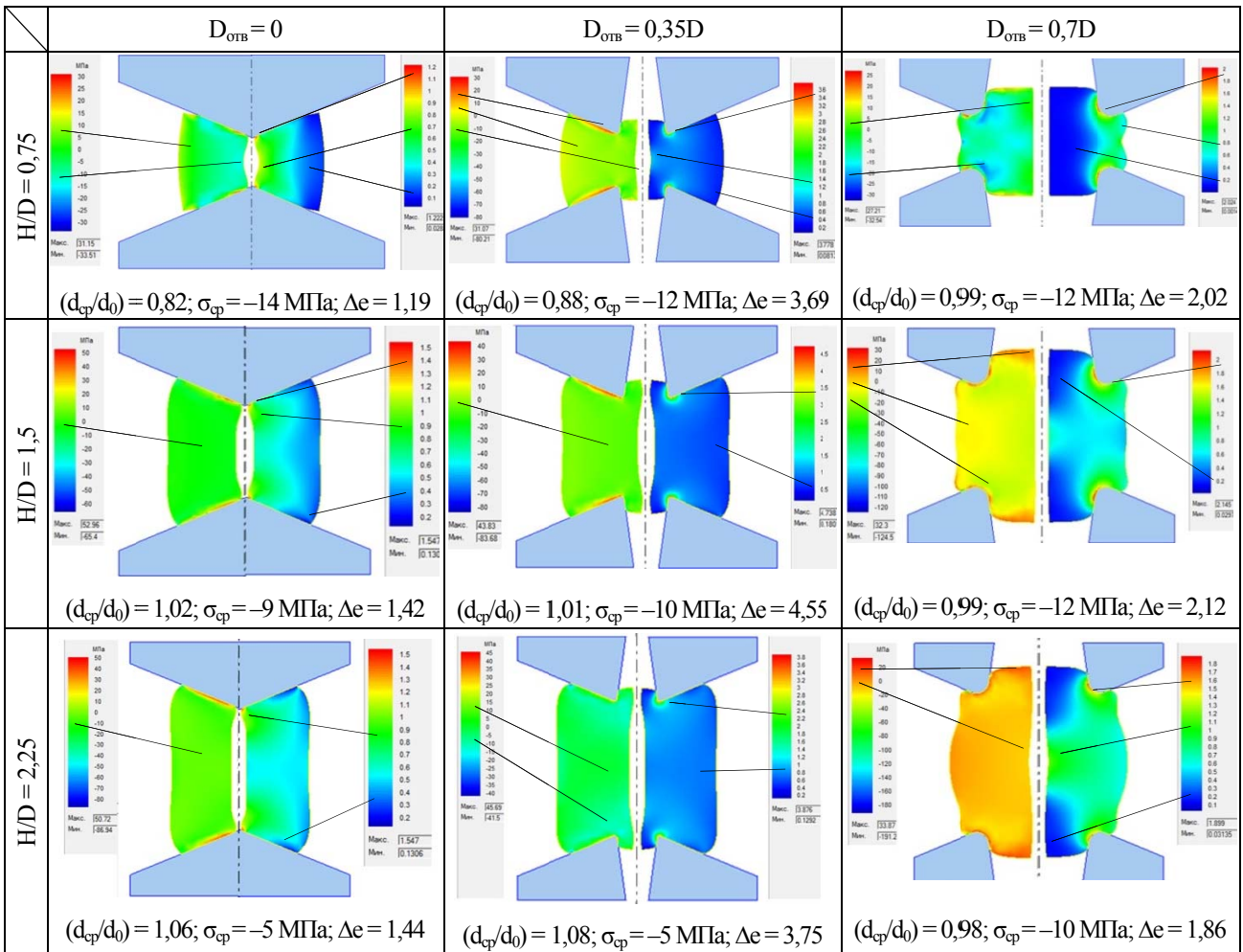
Одержана модель дозволить встановити ефективну геометрію інструмента та розміри заготовки, які забезпечують закриття внутрішнього осьового дефекту ковальського злитка при осаджуванні. Графічне подання встановленої моделі представлено на рис. 4. Аналізуючи отримані результати, можна встановити раціональні параметри інструмента й розміри заготовок для ефективного закриття осьових дефектів. Мінімальні значення відносного діаметра осьового дефекту відповідають для заготовок із $H/D = 0,75$ при осаджуванні на 50 % плоским плитам ($\alpha = 180^\circ$) без отвору (рис. 4, а). Це значення близько до 0,4, що свідчить про закриття дефекту приблизно на 60 %. У цілому можна відзначити, що для низьких заготовок всі значення відносного діаметра осьового дефекту менше 1,0, тому він не буде збільшуватися в процесі осаджування будь-яким інструментом на відміну від інших співвідношень H/D заготовки.

Для заготовок зі співвідношенням $H/D = 1,5$ (рис. 4, б) мінімальне значення розміру осьового дефекту становить $d_{cp}/d_o = 0,98$, а максимальне $d_{cp}/d_o = 1,04$, що свідчить про те, що осьовий дефект при осаджуванні таких заготовок не закривається при різній геометрії інструмента.

Для високих заготовок ($H/D = 2,25$) мінімальне значення осьового дефекту при осаджуванні (рис. 4, в) спостерігається при $\alpha = 180^\circ$ і $D_{oms}/D = 0,7$ і становить приблизно 1,0, тобто дефект залишається практично незмінним.

Таблиця 4

Розподіл напружень і деформацій для схем осаджування опуклими плитами

Рис. 4. Зміна розмірів осьового дефекту при осаджуванні на 50 % для низьких $H/D = 0,75$ (а), середніх $H/D = 1,5$ (б) і високих $H/D = 2,25$ (в) заготовок

Основні значення осьового дефекту для цієї схеми осаджування перебувають в області значень більше 1,0, що свідчить про розкриття осьового дефекту при осаджуванні високих заготовок.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що на закриття внутрішніх дефектів і НДС при осаджуванні різною геометрією інструмента визначальним є співвідношення розмірів заготовки H/D . Діаметр отвору плити менше $0,35D$ не сприяє зміні НДС від схеми осаджування плоскими плитами. Для

коротких заготовок ($H/D = 0,75$), при осаджуванні плоскими плитами спостерігається інтенсивне закриття осьового дефекту. Чим більше висота заготовки й діаметр отвору в плиті, тим більше розкривається дефект і менший рівень стискаючих напружень в осьовій зоні заготовки.

Осаджування ввігнутими суцільними плитами з осьовим отвором менше $0,7D$ для різних співвідношень H/D приводить до одержання схожих якісно й кількісно результатів з НДС і змінення розмірів осьового дефекту. Це пояснюється відсутністю затікання металу в отвір плити. Для низьких заготовок не спостерігається інтенсивне закриття осьового дефекту, як у випадку осаджування плоскими плитами. Нерівномірність розподілу деформацій незначно відрізняється для всіх цих схем і перебуває в межах $0,9...1,1$, але в середньому менше ніж для осаджування плоскими плитами. Рівень стискаючих напружень для низьких і середніх заготовок в осьовій зоні вище, ніж для високих.

Осаджування опуклими суцільними плитами характеризується більш рівномірним напруженим станом за перетином заготовки. Деформований стан для середніх і високих заготовок при осаджуванні опуклими суцільними плитами й з осьовим отвором характеризується утворенням увігнутої бочки. При цьому також зменшується зона ускладненої деформації, а в тілі заготовки з'являються рівномірні стискаючі напруження, за винятком торцевих зон заготовки. Однак це не сприяє закриттю внутрішніх осьових дефектів. Збільшення розмірів діаметрів отворів в плитах для осаджування приводить до збільшення нерівномірності розподілу деформації й напружень за перетином заготовки.

Рациональною з точки зору сприятливих умов для заварювання осьових дефектів є схема осаджування плоскими суцільними плитами заготовок зі співвідношенням $H/D < 1,5$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Потапов А. И. Выбор геометрии бойков и режима протяжки при изготовлении поковок валов / И. А. Потапов // Кузнечно-штамповочное производство. – 2009. – № 6. – С. 19–26.
2. Применение способа осадки слитков кольцами в процессахковки валов / И. С. Алиев, О. Е. Марков, М. В. Олешко, В. Н. Злыгорев // Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 2 (23). – С. 94–98.
3. Влияние операции выворота поковки коническими плитами на распределение деформаций / И. С. Алиев, О. Е. Марков, Я. Г. Жбанков, С. А. Близнюк // Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 3 (24). – С. 64–68.
4. Внедрение энергосберегающего технологического процессаковки крупных слитков без осадки / О. Е. Марков, В. М. Олешко, В. Н. Злыгорев, И. А. Грачев // Кузнечно-штамповочное производство. – Москва, 2011. – № 10. – С. 33–36.
5. Марков О. Е. Процесс утворення утяжини при осадці дисків на плиті з отвором / О. Е. Марков, С. В. Янчук, С. В. Куценко // Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2008. – № 1 (19). – С. 189–192.
6. Тюрин В. А. Стадийность процесса и потокораспределение при осадке плитами с осевым отверстием / В. А. Тюрин, М. Б. Савонькин // Кузнечно-штамповочное производство. – 2009. – № 3. – С. 17–20.
7. Соколов В. Е. О природе волосяных трещин в поковках турбинных дисков из стали 34ХНЗМА / В. Е. Соколов, А. И. Потапов, Н. Н. Александрова // Кузнечно-штамповочное производство. – 1987. – № 4. – С. 8.
8. Дурынин В. А. Исследование и совершенствование технологии производства с целью повышения ресурса стальных изделий из крупных поковок ответственного назначения / В. А. Дурынин, Ю. П. Солнцев. – СПб. : ХИМИЗДАТ, 2006. – 272 с. : ил.
9. Тюрин В. А. Некоторые методы управления качеством металла крупных поковок / В. А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1977. – № 11. – С. 35–39.
10. Aksakal V. Экспериментальное определение проблем осевого и бокового течения металла при ковке в открытых штампах / В. Aksakal, F. H. Osman, A. N. Bramley // Determination of experimental axial and sideways metal flow in open die forging. Mater. and Des. – 2008. – № 3. – P. 576–583.

Марков О. Є. – канд. техн. наук, доц., докторант кафедри ОМТ ДДМА.

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.

E-mail: oleg.markov.omd@mail.ru

Стаття надійшла до редакції 15.12.2011 р.